

Экспериментальное исследование остаточных сварочных напряжений стыкового сварного соединения толстолистовой стали

В.А. Кириллова, Л.Ю. Рыбакова

Самарский государственный технический университет

Аннотация: Толщина стальных листов, используемых в элементе, постепенно увеличивалась, чтобы соответствовать требованиям несущей способности стальных мостов с большими пролетами. Как основной метод соединения толстолистовой стали, сварка приводит к значительным остаточным сварочным напряжениям со сложным распределением. Большое остаточное напряжение при сварке существенно повлияет на характеристики стальных мостов. В данной работе систематически исследуется распределение остаточного напряжения в свариваемом толстом стальном листе, был спроектирован и изготовлен образец толщиной 80 мм, а остаточное напряжение сварки измерено с помощью рентгеновской дифракции.

Ключевые слова: стальной мост, толстая стальная пластина, сварочные остаточные напряжения, метод рентгеновской дифракции, сварное соединение.

Введение. Применение большепролетных стальных мостов постепенно увеличивается с непрерывным развитием транспорта и увеличением потребности в дорожном строительстве, что неизбежно приводит к увеличению толщины стального листа. Сварка является одной из основных форм соединения толстых стальных листов, но её использование приводит к появлению остаточных сварочных напряжений. Существование остаточных сварочных напряжений может негативно сказаться на механических свойствах конструкции [1-3], причем негативные эффекты ярко выражены в свариваемых толстых листах.

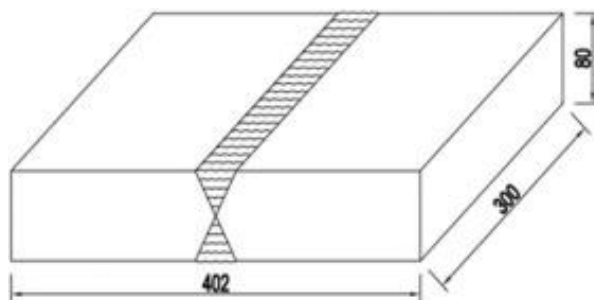
В настоящее время исследования влияния на распределение остаточных напряжений в толстых листах толщиной более 50 мм относительно немногочисленны, распределение остаточных напряжений в толстых листах до сих пор неясно [4-6]. Увеличение толщины плиты, несомненно, будет иметь особое влияние на распределение остаточного

напряжения [7-8], исследования распределения остаточного напряжения при сварке толстого листа нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

С целью устранения недостатков текущих исследований толстых листов стальных мостов, проведено испытание остаточного напряжения при сварке стыкового сварного соединения толщиной 80 мм. Результаты могут служить отправной точкой для анализа остаточных сварочных напряжений и руководства по оптимизации проектирования стальных мостов из толстого стального листа.

Экспериментальное исследование

Размеры и свойства материала. Размер образца составляет 402 мм ×



300 мм × 80 мм, который сварен встык из двух основных металлов размером 300 мм × 200 мм × 80 мм, как показано на рис. 1.

Рис. 1. - Размер стального листа (единица мм)

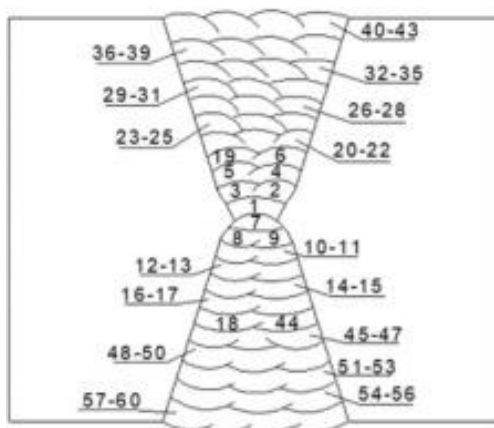
Основным металлом является сталь S420ML, соответствующая стандарту «Изделия горячекатаные из конструкционных сталей. Часть 4: Технические условия поставки для свариваемых мелкозернистых конструкционных сталей после термомеханической прокатки» (EN 10025–4). Номинальное значение минимального предела текучести листа толщиной 80

мм составляет 380 МПа, а номинальное значение предела прочности находится в диапазоне 480–640 МПа.

Параметры процесса сварки

Форма канавки представляет собой двустороннюю U-образную канавку, угол канавки составляет 30°, кромка - 3 мм, радиус корневой дуги - 6 мм, а корневой зазор перед сваркой составляет менее 2 мм.

Сварка образца производится ручной сваркой. Стыковое сварное

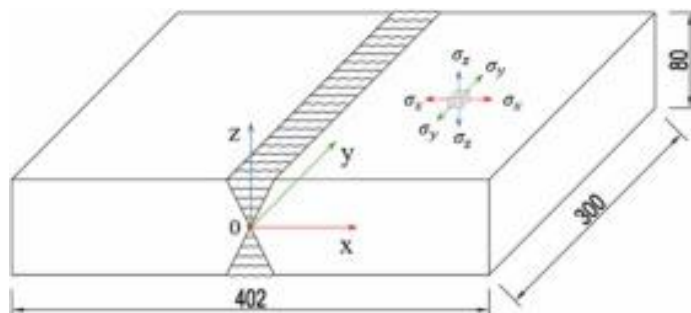


соединение выполняется многослойной многопроходной сваркой. Имеется 60 проходов сварки и 23 слоя в направлении толщины. Распределение проходов сварки показано на рис. 2 (сторона А — ранее сваренная сторона). Сварочный проход 1 — корневая сварка, швы 2–39, 44–56 — заполняющие швы, а швы 40–43, 57–60 — защитные швы.

Рис. 2. - Расположение сварного шва

Измерение остаточного напряжения

В этой статье трехмерная декартова система координат используется в качестве эталона для определения напряжения в каждом направлении. Принимая за исходную точку центральное положение сварного шва на чистовом конце вдоль направления толщины, ось X вдоль направления длины образца, ось Y вдоль направления ширины образца и ось



Z вдоль B направлении толщины образца устанавливается правая система координат, как показано на рис. 3. σ_x , σ_y и σ_z используются для обозначения остаточных напряжений, параллельных координатам X , Y и Z соответственно. То есть в соответствии с фактическим направлением остаточного напряжения оно делится на остаточное напряжение в направлении X , остаточное напряжение в направлении Y и остаточное напряжение в направлении Z .

Рис. 3. - Определение направления остаточных напряжений

Расположение точек измерения

Верхняя поверхность обозначается, как поверхность A ; нижняя поверхность представлена, как поверхность B . Всего на обеих поверхностях образца расположено 70 точек измерения, в том числе 45 точек измерения на поверхности A и 25 точек измерения на поверхности B . Для получения картины изменения остаточных сварочных напряжений на различных поверхностях задаются соответствующие точки измерения на поверхностях

А и В. Для сравнения закона изменения остаточных сварочных напряжений на одной и той же поверхности на поверхности А устанавливают большее количество точек измерения.

Каждая точка измерения измеряет остаточное напряжение σ_x в направлении X. На рисунке точки измерения нанесены по границам, однако при реальном измерении центры точек измерения смещаются внутрь на 3–5 мм.

Измерение

Методы измерения остаточного напряжения можно разделить на разрушающие, полуразрушающие и неразрушающие. Основные компоненты прибора включают рентгеновский дифракционный анализатор напряжения, программное обеспечение для анализа, рентгеновскую трубку, линейный матричный детектор, гониометр, механическую руку и приспособление.

Рентгеновское излучение может проникать только на глубину 10–30 мкм ниже поверхности стального образца, поэтому измерялось только остаточное напряжение поверхности образца.

Результаты и анализ

Остаточное напряжение на пути $L_{yA} = 150$ с координатой Y 150 мм на поверхности А образца и пути $L_{yB} = 150$ с координатой Y 150 мм на поверхности В образца, как показано на рис. 4. Распределение остаточных напряжений в направлении X поверхности сварки после сварки показано на рис. 5.

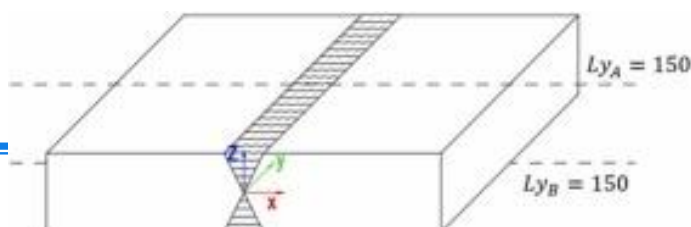


Рис. 4. - Поперечное направление через центр сварного шва (мм)

Из рис. 5 видно, что остаточное напряжение в направлении X поверхности сварки А обычно больше, чем у поверхности сварки В. Пиковое растягивающее напряжение поверхности А на 100 МПа выше, чем у поверхности В. Нужно отметить, что остаточные напряжения на поверхностях А и В в направлении X находятся в противоположных состояниях, а именно остаточное напряжение в направлении X поверхности А в основном является растягивающим, а остаточное напряжение в направлении X поверхности В является, преимущественно, сжимающим, максимальное растягивающее и сжимающие напряжения возникают при одной и той же координате X соответствующих поверхностей.

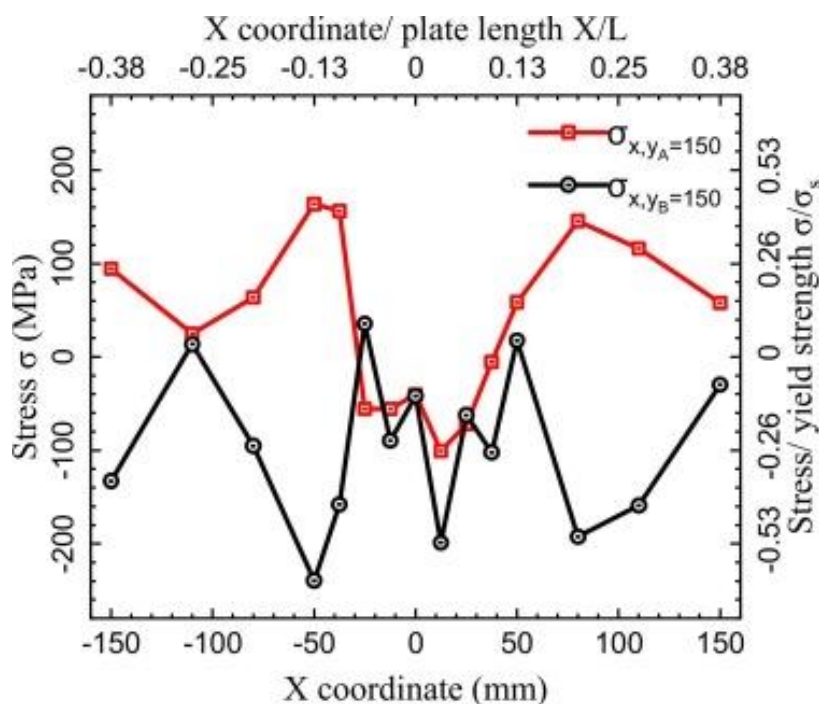


Рис. 5. - σ_x на поверхностях А и В

Есть две причины вышеуказанной разницы. Во-первых, в трех слоях сварки вблизи поверхности имеется 12 сварочных проходов на поверхности А и 10 сварочных проходов на поверхности В. Энергия, получаемая поверхностью А, больше, чем энергия поверхности В, и влияние тепла сварки больше, чем у поверхности В, поэтому площадь пластической деформации в сварном шве и вокруг него больше, чем у поверхности В. При охлаждении и усадке растягивающее напряжение и диапазон его влияния также больше, чем у поверхности В. Второе самоуравновешивание остаточного напряжения в направлении толщины, результирующая сила области растягивающих напряжений и областей сжимающих напряжений в сечении вдоль направления толщины находятся в состоянии равновесия [9-10]. Растягивающие напряжения поверхности А и ее площади велики, что приводит к увеличению сжимающих напряжений и их площади поверхности В.

Выводы

Проанализировано распределение остаточных напряжений внутри и на поверхности толстого стального листа. Основные выводы статьи таковы:

1. Рентгеновская дифракция используется для проверки остаточного напряжения сваренного встык стального листа толщиной 80 мм, получено распределение остаточного напряжения на соответствующих путях на поверхности образца.

2. Напряжение в направлении перпендикулярном сварному шву на верхней поверхности листа толщиной 80 мм имеет форму буквы «М». Напряжение в центре сварного шва, как правило, сжимающее, напряжение в направлении от сварного шва постепенно увеличивается до

максимального растягивающего напряжения, а напряжение вблизи кромки постепенно уменьшается до 0.

Литература

1. Гатовский К.М., Кархин В.А. Теория сварочных деформаций и напряжений. Л.: ЛКИ, 1980. 331 с.
2. Медведев А.Ю., Бычков В.М., Тарасенко Е.Е., Измайлова Н.Ф., Дубин А.И. Исследование остаточных напряжений в соединениях, полученных линейной сваркой трением // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16. № 7(52). С. 59-62.
3. Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций. М.: Высшая школа, 1982. 272 с.
4. Бигер И. А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз. 1963. 233 с.
5. Гатовский К. М. Теория сварочных напряжений и деформаций. Л.: изд. Ленинградского Ордена Ленина кораблестроительного института. 1980. 331 с.
6. Kordisch, H., Boschen, R., Blauel, J.G., Schmitt, W., Nagel, G. Experimental and numerical investigations of the warm-prestressing (WPS) effect considering different load paths // Nuclear Engineering and Design. 2000. Vol. 84(3). pp. 447-450.
7. Masubuchi K. Analysis of Welded Structures: Residual Stresses, Distortion and Their Consequences. Pergamon Press, Oxford, 1980. 654 p.

8. Куркин С.А., Винокуров В.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.

9. Лавыгин Д.С., Леонтьев В.Л. Алгоритм смешанного метода конечных элементов решения задач теории отказов // Инженерный вестник Дона, 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910

10. Устименко Е.Е., Скачков С.В. Метод конечных элементов // Инженерный вестник Дона, 2019. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768

References

1. Gatovskij K.M., Karhin V.A. Teorija svarochnyh deformacij i naprjazhenij. [Theory of welding deformations and stresses]. L.: LKI, 1980. 331 p.

2. Medvedev A.Ju., Bychkov V.M., Tarasenko E.E., Izmajlova N.F., Dubin A.I. Vestnik UGATU. 2012. T. 16. № 7(52). pp. 59-62.

3. Nikolaev G. A., Kurkin S. A., Vinokurov V. A. Svarnye konstrukcii. Prochnost' svarnyh soedinenij i deformacii konstrukcij. [Welded structures. Strength of welded joints and structural deformations]. M.: Vysshaja shkola, 1982. 272 p.

4. Biger I. A. Ostatochnye naprjazhenija. [Residual stresses]. M.: Mashgiz. 1963. 233 p.

5. Gatovskij K. M. Teorija svarochnyh naprjazhenij i deformacij. [Theory of welding stresses and deformations]. L: izd. Leningradskogo Ordena Lenina korablestroitel'nogo instituta. 1980. 331 p.



6. Kordisch, H., Boschen, R., Blauel, J.G., Schmitt, W., Nagel, G. Nuclear Engineering and Design. 2000. Vol. 84(3). pp. 447-450.

7. Masubuchi K. Analysis of Welded Structures: Residual Stresses, Distortion and Their Consequences. Pergamon Press, Oxford, 1980. 654 p.

8. Kurkin S.A., Vinokurov V.A., Nikolaev G.A. Svarnye konstrukcii. Mehanika razrusheniya i kriterii rabotosposobnosti. [Welded structures. Fracture Mechanics and Performance Criteria]. M.: Mashinostroenie, 1996. 576 p.

9. Lavygin D.S., Leontev V.L. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1910

10. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768